

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级 保密

学号: 200326020

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

\_\_\_\_\_硕士\_\_\_\_ 学 位 论 文

基于培养条件优化提高海洋微藻  $\beta$ -胡萝卜素和  
多不饱和脂肪酸含量的初步研究

Studies on promoting the production of  $\beta$ -catotene and  
polyunsaturated fatty acid from microalgae based on optimization of  
culturing conditions

康燕玉

指导教师姓名: 高亚辉教授

专 业 名 称: 水生生物学

论文提交日期: 06 年 4 月 1 日

论文答辩时间: 06 年 6 月 6 日

学位授予日期: 年 月 日

答辩委员会主席: 郑天凌 教 授

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2006 年 06 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。  
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密 (√), 在十年解密后适用本授权书。

2、不保密 ( )

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名:

日期: 年 月 日

导师签名:

日期: 年 月 日

# 目 录

中文摘要	1
英文摘要	4
1. 前言	7
1.1 微藻 $\beta$ -胡萝卜素的研究进展	7
1.2 盐藻的研究进展	9
1.3 海洋微藻生产多不饱和脂肪酸研究进展	13
1.4 微藻在食品工业中的应用	18
1.5 本项目研究的主要内容和意义	19
2. 材料与方法	20
2.1 主要仪器与试剂	20
2.2 多种株系的筛选实验及其藻种培养	20
2.3 不同浓度 NaCl 和光照对杜氏藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素含量的影响	23
2.3.1 盐度胁迫	23
2.3.2 光诱导效应	23
2.3.3 二步法实验	24
2.3.4 藻细胞密度的计数及 $\beta$ -胡萝卜素的检测分析	24
2.3.5 $\beta$ -胡萝卜素的检测分析	24
2.4 不同培养条件对几种微藻生长和脂肪酸组成的影响	25
2.4.1 培养条件正交实验设置	25
2.4.2 脂肪酸的检测与分析	26
3. 结果与分析	29
3.1 不同因素对微藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素含量的影响	29
3.1.1 不同株系微藻细胞内 $\beta$ -胡萝卜素的含量	29
3.1.2 盐度对杜氏藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素的含量的影响	34
3.1.3 光诱导对杜氏藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素的含量的影响	38
3.1.4 应用二步法培养杜氏藻生产 $\beta$ -胡萝卜素	43
3.2 不同因素对微藻脂肪酸组成的影响	44
3.2.1 不同株系微藻细胞中脂肪酸的组成	44
3.2.2 培养条件对 4 种微藻细胞生长的影响	52

3.2.3	培养条件对三角褐指藻细胞内脂肪酸组成的影响	55
3.2.4	培养条件对似脆杆针杆藻细胞内脂肪酸组成的影响	59
3.2.5	培养条件对多枝舟形藻细胞内脂肪酸组成的的影响	64
3.2.6	培养条件对球石藻细胞内脂肪酸组成的影响	67
<b>4.</b>	<b>讨论</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>不同因素对微藻细胞生长和 <math>\beta</math>-胡萝卜素含量的影响</b>	<b>74</b>
4.1.1	不同株系微藻细胞内 $\beta$ -胡萝卜素含量的差异	74
4.1.2	盐度对杜氏藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素的含量的影响	74
4.1.3	光诱导对杜氏藻细胞生长和 $\beta$ -胡萝卜素的含量的影响	76
4.1.4	应用二步法培养杜氏藻生产 $\beta$ -胡萝卜素	77
<b>4.2</b>	<b>不同因素对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响</b>	<b>78</b>
4.2.1	不同株系微藻细胞内脂肪酸组成的差异	78
4.2.2	温度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	79
4.2.3	光照度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	81
4.2.4	盐度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	82
4.2.5	磷初始浓度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	82
4.2.6	氮初始浓度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	83
4.2.7	碳初始浓度对微藻细胞生长和脂肪酸组成的影响	83
4.2.8	4 种藻细胞生长和不同脂肪酸组分的最适培养条件组合	84
<b>4.3</b>	<b>总结</b>	<b>87</b>
<b>4.4</b>	<b>论文不足之处与展望</b>	<b>87</b>
<b>5.</b>	<b>参考文献</b>	<b>88</b>
<b>6.</b>	<b>致谢</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>附录</b>	<b>94</b>

## Content

<b>Abstract in Chinese</b> .....	1
<b>Abstract in English</b> .....	4
<b>1. Introduction</b> .....	7
1.1 The study of $\beta$ -carotene of microalgae.....	7
1.2 The study of <i>Dunaliella</i> .....	9
1.3 The study of polyunsaturated fatty acid in microalgae.....	13
1.4 The application of microalgae in foodstuff industry.....	18
1.5 Purpose of present study.....	19
<b>2. Materials and methods</b> .....	20
2.1 Instruments and equipments.....	20
2.2 Screen of microalgae for high content of $\beta$ -carotene and fatty acid and the culture for the microalgae.....	20
2.3 Effect of NaCl and light on the growth and accumulation of $\beta$ -carotene in <i>Dunaliella</i> .....	23
2.3.1 Salinity stress.....	23
2.3.2 Light inducement.....	23
2.3.3 Two-phase culture.....	24
2.3.4 Count of cells and the determination of $\beta$ -carotene.....	24
2.3.5 The determination of $\beta$ -carotene.....	24
2.4 The effect of culture on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	25
2.4.1 Orthogonal table of experiment for the culture.....	25
2.4.2 The determination of fatty acid.....	26
<b>3. Results</b> .....	29
<b>3.1 The effect of different factors on the content of <math>\beta</math>-carotene in microalgae</b> .....	29
3.1.1 The content of $\beta$ -carotene of different microalgal strains .....	29
3.1.2 The effect of salinity on the growth and the content of $\beta$ -carotene of microalgae.....	34
3.1.3 The effect of light on on the growth and the content of $\beta$ -carotene of microalgae.....	38
3.1.4 Two-phase culture.....	43
<b>3.2 The effect of different factors on fatty acid composition in microalgae</b> .....	44
3.2.1 The fatty acid composition of different microalgal strains.....	44

3.2.2	The effect of culture on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	52
3.2.3	The effect of culture on the fatty acid composition of <i>P. tricornutum</i> .....	55
3.2.4	The effect of culture on the fatty acid composition of <i>S. fragilaroides</i> .....	59
3.2.5	The effect of culture on the fatty acid composition of <i>N. ramosissima</i> .....	64
3.2.6	The effect of culture on the fatty acid composition of <i>C. neohelis</i> .....	67
<b>4.</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>The effect of different factors on the growth the content of <math>\beta</math>-carotene in microalgae.....</b>	<b>74</b>
4.1.1	The content of $\beta$ -carotene of different microalgal strains.....	74
4.1.2	The effect of salinity on the growth and the content of $\beta$ -carotene of microalgae.....	74
4.1.3	The effect of light on the growth and the content of $\beta$ -carotene of microalgae.....	76
4.1.4	Two-phase culture.....	77
<b>4.2</b>	<b>The effect of different factors on fatty acid composition in microalgae.....</b>	<b>78</b>
4.2.1	The fatty acid composition of different microalgal strains.....	78
4.2.2	The effect of temperature on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	79
4.2.3	The effect of light intensity on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	81
4.2.4	The effect of salinity on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	82
4.2.5	The effect of phosphorus on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	82
4.2.6	The effect of nitrogen on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	83
4.2.7	The effect of dextrose on the growth and fatty acid composition of microalgae.....	83
4.2.8	The best combination of environmental factors for the growth and fatty acids composition of four strains of microalgae.....	84
<b>4.3</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>87</b>
<b>4.4</b>	<b>Deficiencies of this study and the prospect.....</b>	<b>87</b>

<b>5. References</b> .....	88
<b>6. Acknowledgements</b> .....	93
<b>7. Appendix</b> .....	94

厦门大学博士论文摘要库



## 摘 要

微藻不仅资源丰富，而且活性物质种类繁多，其中  $\beta$ -胡萝卜素和不饱和脂肪酸是具有抗衰老活性的重要物质。应用生物技术筛选、提取并生产藻类抗衰老生物活性物质具有重要的应用前景。微藻  $\beta$ -胡萝卜素和脂肪酸组成除了受不同株系自身遗传因素控制外，环境因子也可作用于微藻的生长代谢过程，而影响微藻的生长、 $\beta$ -胡萝卜素和脂肪酸组成。本文以几种单细胞微藻为材料，研究了温度、盐度、光照和营养盐浓度对微藻生长、 $\beta$ -胡萝卜素及脂肪酸组成的影响。主要结果如下：

1 对 65 株微藻（42 株硅藻，9 株金藻，10 株绿藻，其他门 4 株）进行了  $\beta$ -胡萝卜素含量的测定结果表明，微藻中  $\beta$ -胡萝卜素的含量变化范围大，具有种属特异性，即使是同一个种，由于不同株系，其  $\beta$ -胡萝卜素的含量也不同。

2 对 72 株微藻（49 株硅藻，4 株甲藻，9 株金藻，10 株绿藻）进行了脂肪酸组成的测定结果表明，微藻脂肪酸组成成分及含量因种类和株系不同而不同，微藻的脂肪酸组成对其分类也可提供有力的依据。

3 巴氏杜氏藻 *Dunaliella bardawil* 和盐生杜氏藻 *Dunaliella salina* 细胞生长的最适盐度是  $2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ ，高于  $2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$  不利于细胞生长，生产高  $\beta$ -胡萝卜素含量的最适盐度是  $3.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ ；*Dunaliella tertiolecta* 细胞生长和生产高  $\beta$ -胡萝卜素含量的最适盐度都是  $2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ ，高于  $2.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$  即不利于细胞生长，也不利于  $\beta$ -胡萝卜素累积。统计分析获得几个回归方程和实验数据有很好的拟合关系，可以用来准确描述盐度对杜氏藻细胞密度、 $\beta$ -胡萝卜素的影响。方程如下：

*D. bardawil*:

$$y_1 = -3.576 + 5.57x - 2.033x^2 + 0.231x^3, R^2 = 0.92;$$

$$y_2 = 30.592 - 33.925x + 12.744x^2 - 1.497x^3, R^2 = 0.83$$

*D. salina*:

$$y_1 = -0.10 + 1.037x - 0.424x^2 + 0.050x^3, R^2 = 0.90;$$

$$y_3 = 112.233 - 110.965x + 47.895x^2 - 6.101x^3, R^2 = 0.98;$$

*D. tertiolecta*:

$$y_3 = 22.185 - 27.626x + 11.448x^2 - 1.375x^3, R^2 = 0.99$$

式中,  $y_1$  为细胞密度  $10^6$  个 $\cdot\text{mL}^{-1}$ ,  $y_2$  为  $\beta$ -胡萝卜素含量%DW,  $y_3$  为单细胞  $\beta$ -胡萝卜素含量  $\text{pg}\cdot\text{cell}^{-1}$ ,  $x$  为盐度。

4 紫外线诱变下的 *D. bardawil* 藻株环境适应能力较强,  $\beta$ -胡萝卜素含量较高, 但紫外线辐射也在一定程度上抑制了细胞生长; 高光照度 ( $1\ 080\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 对 *D.bardawil* 和 *D. salina* 诱导, 一定程度上抑制了细胞的生长, 促进  $\beta$ -胡萝卜素的累积。

5 有利于  $\beta$ -胡萝卜素累积的高盐、高光照、高温和营养盐缺乏条件均不利于藻类生长, 应用二步法培养方式解决了这一矛盾。使  $\beta$ -胡萝卜素累积提高两倍以上, 其中 *D.bardawil* 和 *D. salina* 的  $\beta$ -胡萝卜素含量高达 5.98%和 8.37%。最终获得二步法两阶段的培养条件。

6 温度对三角褐指藻 *Phaeodactylum tricornutum*, 似脆杆针杆藻 *Synedra fragilaroides*, 多枝舟形藻 *Navicula ramosissima*, 球石藻 *Coccolithus neohelis* 细胞生长影响十分显著, 其中似脆杆针杆藻、多枝舟形藻、球石藻在  $20\sim 25^\circ\text{C}$  下细胞生长较好, 而三角褐指藻是  $15^\circ\text{C}$ ; 温度是影响 4 种微藻中 EPA (二十碳五烯酸)、DHA (二十二碳六烯酸) 和 PUFA (多不饱和脂肪酸) 含量的最为关键性因素, 而且在  $15\sim 25^\circ\text{C}$  范围内, EPA、DHA 和 PUFA 平均含量, 随着温度的升高而降低, 在  $15^\circ\text{C}$  都达到最高。说明低温促进微藻合成 EPA、DHA 和 PUFA, 而高温抑制它们的合成。

7 光照度对微藻的脂肪酸组成的影响具有种属的特异性, 但在  $27\sim 117\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  内对细胞生长影响不显著; 4 种藻产 DHA、EPA 和 PUFA 的最适光照度水平都大于光照度低限( $27\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 这和藻细胞生长的最适光照度水平是一致的。

8 盐度能调节细胞生长, 改变微藻中各种脂肪酸的组成比例, 但作用结果因种而异。除了似脆杆针杆藻在 25‰生长最好, 其他 3 种藻生长最适盐度都大于 25‰; 除了球石藻在 25‰下 DHA 含量较高, 4 种藻的 EPA 和 PUFA 含量的最适盐度都大于 25‰。

9 磷初始浓度对 4 种藻细胞生长的影响并不显著, 不同藻细胞生长和脂肪酸的最适磷初始浓度具有不同种属的特异性。三角褐指藻、多枝舟形藻生长的最佳磷浓度为  $2.5\text{ mg/L NaH}_2\text{PO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ , 而似脆杆针杆藻和球石藻生长的最佳磷浓度

为 7.5 mg/L。磷初始浓度对三角褐指藻的 EPA 和 PUFA 含量影响十分显著，且在 5.0 mg/L 时最高。

10 氮初始浓度是影响三角褐指藻、似脆杆针杆藻、多枝舟形藻细胞生长的最关键因子，充足的氮对细胞的生长有利，当氮浓度为 37.5~112.5 mg/L  $\text{NaNO}_3$ ，DHA、EPA 和 PUFA 含量都随氮浓度的升高而升高；而球石藻呈现不同的规律，其高产 DHA 的最适氮初始浓度是 37.5 mg/L，EPA 是 75 mg/L，PUFA 是 112.5 mg/L。

11. 在  $\alpha=0.1$  水平上，碳（葡萄糖）初始浓度对似脆杆针杆藻和球石藻生长有显著影响，对其他的藻影响不显著。而且不同藻细胞生长和 DHA、EPA 和 PUFA 累积的最适碳初始浓度也不同。

12. 最后根据以上结果获得了 4 种藻细胞生长和不同的脂肪酸组分的最适培养条件组合。

关键词：硅藻； $\beta$ -胡萝卜素；脂肪酸；培养条件

# **Studies on promoting the production of $\beta$ -carotene and polyunsaturated fatty acid from microalgae based on optimization of culturing conditions**

## **Abstract**

As abundant resources, microalgae contain many kinds of active product. And  $\beta$ -carotene and PUFAs are important in senescence resistant. So it is important and necessary to screen out microalgae strains of high content of  $\beta$ -carotene or PUFAs. And then we can distill these compounds from the microalgae to produce senescence-resistant compounds. The  $\beta$ -carotene content and fatty acid composition of microalgae are dependent on not only the strains and the inherited factors, but also on the environmental factors. Environmental factors have an effect on the metabolism of microalgae and so that affect the growth,  $\beta$ -carotene and fatty acid composition of microalgae. Several species of microalgae, were cultured in batch under various conditions and their growth,  $\beta$ -carotene and fatty acids composition were investigated in order to optimize their  $\beta$ -carotene and PUFAs production. The results were showed as following:

1 We detected the content of  $\beta$ -carotene of 65 strains microalgae, including 42 strains diatom, 9 strains yellow-green algae, 10 strains green algae and 4 strains others. The results showed that the  $\beta$ -carotene content of microalgae were different among the different species, strains and the inherited factors.

2 We also detected the fatty acid composition of 72 strains microalgae, including 49 strains diatom, 4 strains dinoflagellate, 9 strains yellow-green algae and 10 strains green algae. The results showed that fatty acid composition of microalgae were different among the different species, strains and the inherited factors.

3 The most suitable NaCl concentration for the growth of *Dunaliella bardawil* and *D. salina* was 2.0mol/L NaCl, and 3.5mol/L NaCl was favourable for accumulation of  $\beta$ -carotene. The most suitable NaCl concentration for *D. tertiolecta* growth and accumulation of  $\beta$ -carotene was 2.0mol/L NaCl. We got some regression equations by SPSS statistic analysis, in order to describe the relationship between the salinity and cell density,  $\beta$ -carotene of *Dunaliella*.

4 *D. bardawil* by ultraviolet radiation had better adaptability to environment and accumulated more  $\beta$ -carotene.  $\beta$ -carotene content in *D. bardawil* and *D. salina* was enhanced by the high light intensity ( $1\ 080\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), but the growth was restrained by it.

5 The output of  $\beta$ -carotene by two-phase culture was one time higher than that of ordinary culture, and the output of  $\beta$ -carotene in *D. salina* and *D. bardawil* was 8.37% and 5.98%. The results suggest that the application of two-phase culture of *Dunaliella* for the accumulation of  $\beta$ -carotene is feasible.

6 Temperature had distinct effect on the growth of *Phaeodactylum tricornutum*, *Synedra fragilaroides*, *Navicula ramosissima*, *Coccolithus neohelis*. *S. fragilaroides*, *N. ramosissima*, *C. neohelis* grew well at  $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ , and *P. tricornutum* grew best at  $15^{\circ}\text{C}$ ; Temperature also had distinct effect on the EPA, DHA and PUFA of these four strains of microalgae, which were highest at  $15^{\circ}\text{C}$ . It means that low temperature can induce the production of EPA, DHA and PUFA, and high temperature restrained them.

7 The effect of light intensity on the fatty acid composition of microalgae was different among the different species or strains. Light intensity ( $27\sim 117\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) did not have distinct effect on the growth of microalgae. The favourable light intensity for the accumulation of EPA, DHA and PUFA was higher than  $27\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . It was the same as the favourable light intensity for the growth of microalgae.

8 Salinity affected the growth of the microalgae, changed the fatty acid composition of microalgae, depending on the species of microalga. *S. fragilaroides* grew best at 25‰ and the best salinity for other three strains of microalgae was higher than 25‰. The DHA of *C. neohelis* was highest at 25‰ and the best salinity for EPA, PUFA of four strains of microalgae was higher than 25‰.

9 Initialized concentration of phosphorus did not have distinct effect on the growth of the four microalgae. But the favourable initialized concentration of phosphorus for the growth and fatty acid was different depending on the species of the microalgae. The favourable initialized concentration of phosphorus for the growth of *P. tricornutum* and *N. ramosissima* was 2.5 mg/L, and for the growth of *P. tricornutum* and *N. ramosissima* was 7.5 mg/L. Initialized concentration of

phosphorus had distinct effect on the EPA and PUFA of *P. tricornutum*, and the best concentration was 5.0 mg/L.

10 Initialized concentration of nitrogen was the most important factor for the growth of *P. tricornutum*, *S. fragilaroides*, and *N. ramosissima*. The microalgae grew well when the culture had rich nitrogen. DHA, EPA and PUFA were higher when the initialized concentration of nitrogen was higher, from 37.5 to 112.5 mg/L  $\text{NaNO}_3$ . And *C. neohelis* was different with them. The favourable initialized concentration of nitrogen for the accumulation of DHA was 37.5 mg/L, for EPA it was 75 mg/L and for PUFA it was 112.5 mg/L.

11 Initialized concentration of dextrose had distinct effect on the growth of *S. fragilaroides* and *C. neohelis* at  $\alpha=0.1$  level, and did not had distinct effect on the growth of *P. tricornutum* and *N. ramosissima*. The favourable initialized concentration of dextrose for the accumulation of DHA, EPA and PUFA was different, depending on the species of microalgae.

12 Based on the culture experiment results, the optimal combination of environmental factors were proposed for the growth and high production of fatty acids of four strains of microalgae.

Keywords: diatom,  $\beta$ -carotene, fatty acid, culture condition

## 第一章 前言

当前癌症、心脑血管病、爱滋病、各种免疫性疾病及流行性疾病已对人类的生存构成威胁，现存的陆生天然药物及化学合成药物的资源和药用效果已很有限。而在海洋生物中存在大量的、种类繁多的生物活性物质，包括色素、脂肪酸、萜类、肽类、聚醚类、氨基酸类、生物碱和蛋白质等。这些物质具有很强的生理活性，包括抗衰老、抗肿瘤、抗病毒、抗菌、降压、抗凝血等，具有广阔的药用前景。而这些活性物质的初始来源大部分来自资源丰富的低等海洋生物——微藻类及菌类。其中，不饱和脂肪酸、 $\beta$ -胡萝卜素等具有明显抗衰老作用的活性物质引起了科学家的广泛兴趣。

国外自二十世纪六十年代开始投入巨资对海洋天然活性物质和海洋药物进行探索研究，但研究对象多为海绵、棘皮动物、软体动物、腔肠动物及鱼类等海洋动物和大型藻类，对个体微小的海洋微藻并未引起足够的重视；但近年来的研究发现，微藻不仅资源丰富，而且活性物质种类繁多；国际上正在兴起从微藻中筛选和提取新型药物和保健品，尤其是色素、脂肪酸等抗衰老活性物质的热潮。国内在这方面的研究则刚刚起步。我国已记录的海洋微藻达 4 千多种，但已被研究的种类保守估计占不到 2%，因此，开发潜力巨大。

应用生物技术筛选、提取并生产藻类抗衰老生物活性物质引起了广泛的重视，通过研究可望分离筛选到高产不饱和脂肪酸、 $\beta$ -胡萝卜素等抗衰老活性物质的藻株，并建立其培养、分离提取技术，用于人类的强体健身抗衰老；还可直接或加工后用于水产养殖、化工、食品和饲料工业，具有很大的应用潜力。

### 1.1 $\beta$ -胡萝卜素的研究进展

#### 1.1.1 $\beta$ -胡萝卜素的生理活性及应用

经过多年的研究，证明  $\beta$ -胡萝卜素具有如下生理作用：1. 抗氧化<sup>[1]</sup>，2. 结合氧<sup>[2]</sup>，3. 捕获自由基，4. 抗辐射和光敏损伤，5. 增加免疫力，6. 抗突变，7. 抗肿瘤，8. 转化为维生素 A<sup>[3]</sup>。研究发现， $\beta$ -胡萝卜素是一种重要的抗癌药物。1990 年在澳大利亚召开的营养学会上，300 多名科学家、医生和营养学家一致认为， $\beta$ -胡萝卜素具有降低心脏冠状动脉发病的潜力；1991 年美联社将  $\beta$ -胡萝卜素的作用评

选为世界十大科技新成就<sup>[4]</sup>。已有的研究表明,  $\beta$ -胡萝卜素在预防和辅助治疗各种癌症的效果并不完全相同, 它对肺癌、结肠癌、咽喉癌、口腔癌、食道癌、皮肤癌以及腹部以上癌症的效果较好; 同样, 在防止和治疗心血管病方面,  $\beta$ -胡萝卜素对冠状动脉粥样硬化和脑中风的作用效果较好。 $\beta$ -胡萝卜素作为抗癌药物, 比其他抗癌药物还有一个明显优势, 即它能够通过人体正常代谢而降解, 所以使用安全, 这是其他抗癌药物所不能比的<sup>[5]</sup>。

$\beta$ -胡萝卜素是重要的天然色素之一, 联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)食品添加剂委员会一致推荐并认定  $\beta$ -胡萝卜素是 A 类营养色素。长期以来被作为食品着色剂和维生素 A 的前体而广泛使用, 对防治夜盲症、促进人体生长发育、抗氧化、延缓衰老、提高免疫力、防癌抗肿瘤以及大幅度降低心血管病发生率等具有显著的功效。现在  $\beta$ -胡萝卜素已广泛用做黄色着色剂以代替油性焦油系着色剂。常用于奶油、干酪、蛋黄酱、食用油脂、人造奶油、起酥油、糕点和面包等。在果汁中与维生素 C 合用, 可提高稳定性<sup>[6]</sup>

### 1.1.2 $\beta$ -胡萝卜素的生产

目前  $\beta$ -胡萝卜素的生产方法有化学合成法、植物提取法和微生物发酵法<sup>[7]</sup>。化学合成法技术复杂, 而且由于人们对化学合成品的警惕性的提高。此外, 在盛行“回归自然”的今天, 化学合成的  $\beta$ -胡萝卜素正在逐渐被天然  $\beta$ -胡萝卜素取代。植物提取法主要从胡萝卜等生物中提取和化学法合成, 但获得的  $\beta$ -胡萝卜素不仅含量低、提取工艺复杂、烦琐, 而且总是有杂质和有害成分、构型不同(全反式), 不易在人及动物体内吸收、储存。发酵法生产  $\beta$ -胡萝卜素不受环境条件的限制, 具有安全性、低成本等优势, 也存在一定的短处, 在国外受到重视。

研究表明, 目前  $\beta$ -胡萝卜素的最好天然产源是杜氏藻, 在适宜的环境下, 它能大量累积  $\beta$ -胡萝卜素, 最高可达 14% (占干重%)<sup>[8]</sup>, 远远高于其他动植物体内的含量, 而在胡萝卜中其含量仅为万分之四 (占鲜重%)。杜氏藻的人工培养始于 20 世纪 60 年代, 主要是收获藻体用作鱼、虾、贝类幼体的饲料, 真正以提取  $\beta$ -胡萝卜素为目的的杜氏藻培养始于 20 世纪 70 年代, 目前, 以色列、美国、澳大利亚、俄罗斯和智利等盐湖国家均已形成了从杜氏藻养殖到杜氏藻深加工等规模不同的杜氏藻产业, 藻产品的产量和种类不断增加<sup>[9]</sup>, 质量也稳步上升, 经济价值可观。我国于 1982 年在西藏扎布耶盐湖首次发现了富含胡萝卜素且嗜寒性优良的扎布耶杜氏藻, 目前已成功地在内蒙阿拉善盟吉兰泰集团实现了



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库